

Análisis de red en la Prov. de Bs. As. para sistemas fotovoltaicos de baja potencia

Valenzuela, Lautaro Emanuel^{1,3}[0000-0002-3430-4999], Risso, Mariano^{2,3}, and Rubiales, Aldo.^{2,3}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

² a Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC-PBA), Buenos Aires, Argentina

³ Instituto Pladema, Gral. Pinto 339, 7000 Tandil, Argentina

Abstract. El presente trabajo presenta un estudio de la paridad de red para sistemas fotovoltaicos [6] de baja potencia en usuarios residenciales y comerciales que residen en la Provincia de Buenos Aires utilizando el método LCOE [2]. Con este fin, se consideraron los valores tarifarios correspondientes a la distribuidora eléctrica USINA [10] ubicada en la ciudad de Tandil, como a su vez los valores de los beneficios reglamentados por la ley nacional N° 27.424 [11]. Además, se estudió los resultados en el método realizando variaciones en los porcentajes de bonificación, entre otros. Finalmente se analizó un perfil de carga de un usuario residencial y el impacto de la utilización de un sistema de referencia para determinar los beneficios de su implementación y los años que conlleva su correspondiente amortización.

Keywords: Tarifas · LCOE · Paridad de red · Sistemas fotovoltaicos

1 Introducción

Debido al creciente uso de instalaciones fotovoltaicas y las recientes reglamentaciones de las leyes nacionales sobre beneficios para la generación distribuida se realizó un estudio de paridad de red en la provincia de Buenos Aires [7]. Estas nuevas leyes consideran bonificaciones acordes a las potencias instaladas por los usuarios, por ende se ajustan a los diferentes tipos de perfiles existentes. Este estudio se realizó con el fin de determinar si los usuarios residenciales y comerciales logran alcanzar la paridad de red al optar por el uso de estos tipos de energías renovables utilizando el método LCOE. Además, se analizaron las tarifas actuales para estas categorías de usuarios realizando su correspondiente desglose. Por otro lado, se realizó un estudio de sensibilidad para algunas variables que intervienen en nuestro método para determinar cómo afectaba la variación de las mismas en los resultados finales de este. Finalmente, considerando la reglamentación actual se analizó el perfil de carga de un usuario residencial tipo y el impacto de la utilización de un sistema de paneles fotovoltaicos de 2 kW para determinar el ahorro anual y, a su vez, en su proyección anual cuáles son los tiempos de amortización de la inversión realizada para su instalación y puesta en marcha.

2 Valenzuela, Lautaro Emanuel , Risso, Mariano, and Rubiales, Aldo.

2 Metodología

Para realizar el correspondiente análisis de red, en primer medida se comparó el resultado del método LCOE en usuarios residenciales y comerciales con sistemas fotovoltaicos contra el precio de red para cada uno de los mismos. Este método se utilizó debido a que es ampliamente adoptado para este tipo de análisis para diferentes tipos de energías [3] [4] [5].

El cálculo se llevó a cabo mediante la siguiente ecuación [1]:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

Donde:

- I_0 es la inversión inicial, la cual corresponde a la suma de todos los elementos que componen la instalación incluyendo los costos de puesta en marcha.
- M_t es el costo que conlleva de mantenimiento y operación en el año t , comúnmente se utiliza entre el 15% y 30% del valor de la instalación.
- F_t por otro lado es el costo en combustible en el año t , el cual en el corriente estudio es cero debido al tipo de instalación utilizada.
- r es la tasa de descuento (interés), tomando valores entre 4% y 8%.
- n es la vida útil de la instalación la cual se consideró dentro de un período de 30 años.
- E_t es la energía fotovoltaica generada para cada año t .

La energía fotovoltaica generada en un año se calculó haciendo uso de la siguiente ecuación [9]:

$$E_t = \frac{G_0 * F_a * F_d * PR * P_{peak} * 365}{1 \left[\frac{kW}{m^2} \right]} \quad (2)$$

Donde:

- G_0 es la radiación solar diaria promedio medida en un plano horizontal tomando como valor $4,2 \frac{kW}{m^2}$ correspondiente a la ubicación estudiada [12].
- F_a es el factor de corrección el cual se encuentra tabulado para cada latitud, mes del año y ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, el mismo es valorado en 1,1.
- F_d es el factor de disponibilidad anual del sistema, en el cual se considera el tiempo operacional del mismo descontando el tiempo que se encontrará fuera de servicio debido a problemas con la instalación u otros inconvenientes, debido a esta razón se tomó el valor 0,9 para este parámetro.
- PR es la tasa de rendimiento global del sistema valorada en 0,8.
- P_{peak} es la potencia máxima del generador (kWp) [8] y se calcula como 1,2 veces la potencia del inversor utilizado.

En lo que respecta a los tipos de instalaciones estudiadas, en los sistemas residenciales se consideró el costo de inversión promedio correspondiente a los generadores fotovoltaicos de 1.5, 2 y 3 kW (monofásicos) y para los usuarios comerciales, se consideró el costo promedio de 6 y 10 kW (trifásicos).

Por otro lado, en cuanto a los valores tarifarios se utilizaron los correspondientes a la Provincia de Buenos Aires del año 2020, puntualmente los de la distribuidora eléctrica USINA de la ciudad de Tandil para ambos tipos de usuarios [10]. Por ende, el costo final de la electricidad de la red se calculó sobre la base del precio de la electricidad, incluyendo los costos variables y fijos asociados a los servicios de esta compañía.

Finalmente, para cuantificar los beneficios económicos del autoconsumo fotovoltaico para usuarios residenciales, se consideró una curva de carga de una vivienda familiar tipo y una instalación fotovoltaica de 2 kW.

Cabe mencionar que todas las instalaciones utilizan paneles fotovoltaicos de 315 W e inversores acordes a sus tamaños. Además, los presupuestos solicitados para los correspondientes cálculos y análisis fueron en dólares, por ende, todos los costos y cálculos se realizaron en el mismo tipo de moneda.

3 Resultados

A continuación se detallan los resultados obtenidos en el desarrollo del análisis de la instalación de sistemas fotovoltaicos de baja potencia para usuarios residenciales y comerciales. En el mismo, se realizó un análisis de paridad de red [6] en ambos casos utilizando el método LCOE para evaluar los diferentes proyectos. Por otro lado, se realizó una evaluación de los costos que se incurren en las facturaciones, la distribución porcentual de las mismas y como la inserción de la nueva ley de generación distribuida afecta a estas incluyendo los beneficios promocionales propuestos. Además, se llevó a cabo un estudio del impacto de una instalación fotovoltaica de baja potencia en un usuario residencial promedio y cuáles serían los tiempos de retorno de su inversión.

3.1 Costo de instalación

Se analizaron 5 diferentes tipos de instalaciones, 3 correspondientes a usuarios residenciales de 1.5, 2 y 3 kW, y 2 de usuarios comerciales de 6 y 10 kW de potencia los cuales podemos ver en el Cuadro 1.

Table 1. Costo del Wp según las diferentes magnitudes de las instalaciones para los usuarios residenciales y comerciales.

	Residencial			Comercial	
Potencia (kW)	1,5	2	3	6	10
Costo (U\$/Wp)	2,03	1,87	1,87	1,89	1,62
Costo promedio (U\$/Wp)	1,92			1,75	

4 Valenzuela, Lautaro Emanuel , Risso, Mariano, and Rubiales, Aldo.

Los resultados obtenidos hacen referencia a la potencia máxima de las instalaciones e indican que en base al costo de las instalaciones el precio promedio para usuarios residenciales es de 1.92 U\$/Wp y de 1.75 U\$/Wp para comerciales. Esto nos indica que a una mayor potencia instalada menor es el precio por Wp.

3.2 Costo nivelado de la energía (LCOE) en las instalaciones fotovoltaicas

Continuando con el estudio, se calcularon los valores LCOE para cada una de las instalaciones fotovoltaicas sin considerarse ningún beneficio asociado a las mismas, junto con la producción anual de energía alcanzada por las mismas y que podemos ver en el Cuadro 2 donde se detallan las diferentes potencias ya mencionadas.

Table 2. Costo nivelado de energía y producción anual para los diferentes tamaños de instalaciones fotovoltaicas.

	Residencial			Comercial	
Potencia (kW)	1,5	2	3	6	10
Producción anual (MWh)	2,47	3,6	4,9	9,8	16,5
LCOE (U\$/kWh)	0,27	0,24	0,25	0,25	0,21

Estos nos arroja valores promedios para los usuarios residenciales de 0.25 U\$/kWh y de 0.23 U\$/kWh para comerciales, obteniendo un precio más bajo para estos últimos. Estos valores por si solos no nos brindan ninguna información, por ende posteriormente se usan para compararlos con los costos de la energía que se obtienen mediante las tarifas de la distribuidora para cada uno de los tipos de usuarios mencionados y así evaluar si se alcanza la paridad de red.

3.3 Precio de la electricidad para usuarios residenciales y comerciales de baja potencia

Los esquemas tarifarios para el año 2020 [10] establecidos por la distribuidora eléctrica USINA de la provincia de Buenos Aires se analizaron como se mencionó con anterioridad. En la Figura 1 se encuentra el desglose de las tarifas para usuarios residenciales y comerciales. En la misma se puede observar la distribución porcentual de sus costos en la energía, los costos fijos correspondientes al nivel de consumo y los impuestos provinciales y municipales vinculados estos mismos.

Luego de analizar las facturas se llegó a calcular que el precio promedio por kW actual que posee la distribuidora es de 0.12 U\$D y 0.17 U\$D para usuarios residenciales y comerciales correspondientemente.

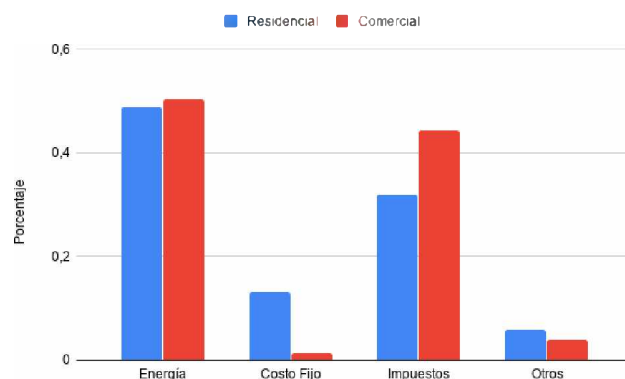


Fig. 1. Desglose y comparativa porcentual de los componentes existentes en tarifas residenciales y comerciales

3.4 Paridad de red en sistemas fotovoltaicos de baja potencia

El siguiente paso, luego de obtener el precio promedio de la energía suministrada por la distribuidora, es realizar la comparación de los valores promedio de LCOE para las instalaciones fotovoltaicas para usuarios residenciales y comerciales que pudimos ver en la Tabla 2.

En la Figura 2 podemos ver los resultados obtenidos de dicha comparación, en los cuales además se agrega una comparación considerando el beneficio vinculado a la promoción de estas energías establecido por la ley nacional N° 27.424 [11]. Este beneficio se corresponde con el Certificado de Crédito Fiscal (CCF). El mismo se otorga en forma de bono electrónico a favor de un usuario y se verá reflejado en su cuenta de AFIP, pudiendo ser utilizado para el pago de impuestos nacionales como el impuesto a las ganancias y el impuesto al valor agregado (IVA), entre otros, durante los 5 años posteriores a su obtención. El monto es de \$ 30.000 por kW instalado, hasta un máximo de \$ 2.000.000 por instalación. Por ende, debido a que esto es equivalente a un ahorro, se lo consideró como un crédito a favor y se lo tuvo en cuenta a la hora de calcular el LCOE restando este beneficio a la inversión inicial del proyecto.

Se puede ver que existen grandes diferencias entre el precio promedio de la red eléctrica y los costos asociados a la auto producción utilizando energía fotovoltaica. Para los usuarios residenciales, el LCOE sin aplicar beneficios tiene una diferencia de 0.13 U\$D con los costos de la electricidad de red. De la misma manera sucede aplicando los beneficios propuestos, siendo 0.12 U\$D de diferencia. Por otro lado, para usuarios comerciales la situación es diferente, debido a que sin la aplicación de los beneficios la diferencia es de 0.06 U\$D y aplicándolos de 0.04 U\$D. En ambos casos los valores son mayores a los de la red, sin embargo, los usuarios comerciales se encuentran más cerca de alcanzar la paridad de red. Esto nos indica que los usuarios residenciales, se encuentran lejos de alcanzar esta paridad de red al momento del estudio.

6 Valenzuela, Lautaro Emanuel , Risso, Mariano, and Rubiales, Aldo.

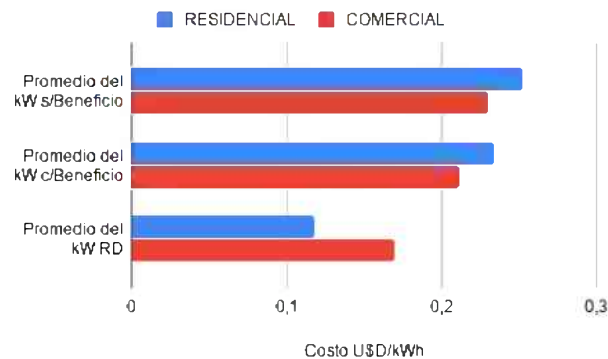


Fig. 2. Comparativa de la paridad de red en usuarios residenciales y comerciales, aplicando el beneficio y no haciéndolo.

3.5 Estudio de sensibilidad

Por otro lado, se agrega un estudio de sensibilidad en el cual intervienen las variables de porcentaje de interés y de bonificación que se incluyen en el cálculo de LCOE. Para esto mismo, se analizó el impacto de su variación tanto para una instalación de 2 kW (Residencial) como para una de 10 kW (Comercial).

Porcentaje del interés en el LCOE (Residencial 2kW)

En la Tabla 3 se encuentra la variación de los resultados del método LCOE variando el porcentaje de interés entre valores de 2 y 5 %.

Table 3. Variación del porcentaje de interés en el cálculo de LCOE (Residencial).

Porcentaje de interés	LCOE
5	0,2256522051
4	0,2195817896
3	0,2138505084
2	0,2084826153

Por otro lado, en la Figura 3 se muestra gráficamente la variación del porcentaje mencionado con respecto al valor del LCOE resultante.

Porcentaje del interés en el LCOE (Comercial 10kW)

De la misma manera que se pudo ver la tabla anterior, en la Tabla 4 se encuentra los resultados de esta misma variación pero con respecto a una instalación acorde a un usuario comercial.



Fig. 3. Valor de LCOE con variación del porcentaje de interés (Instalación de 2 kW)

Table 4. Variación del porcentaje de interés en el cálculo de LCOE (Comercial).

Porcentaje de interés	LCOE
5	0,1930915848
4	0,1881011072
3	0,1833894313
2	0,1789764962

De la misma manera, en la Figura 4 se puede ver la variación del porcentaje ya mencionado con respecto al valor del LCOE resultante para este tipo de instalación.

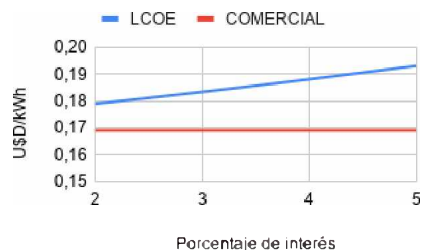


Fig. 4. Valor de LCOE con variación del porcentaje de interés (Instalación de 10 kW)

Finalmente, trabajando con la variación del porcentaje de interés se llega a la conclusión que se podría lograr reducir las diferencias de manera sustancial en los usuarios comerciales (Figura 4) y dejarlos muy cerca de alcanzar la paridad de red, sin embargo en el caso de los residenciales (Figura 3) esto no ocurre de igual manera, ya que las diferencias son demasiado grandes y esta modificación no es suficiente para poder acercar estos valores a los esperados.

Porcentaje de bonificación en la inversión inicial (Residencial 2kW)

La siguiente variable de estudio fue la bonificación de la inversión inicial la cual

8 Valenzuela, Lautaro Emanuel , Risso, Mariano, and Rubiales, Aldo.

de la misma manera que el interés se varió de manera porcentual para determinar cuales eran los valores que podían lograr que se alcanzara la paridad de red. Los porcentajes utilizados fueron de 0, 15, 30, 50, 70 y 90 % del total del costo de la inversión.

En la Tabla 5 se encuentran los resultados de LCOE para una instalación residencial de 2kW en base a los diferentes porcentajes de bonificación y cuanto dinero representa cada uno de estos.

Table 5. Variación del porcentaje de bonificación en el cálculo de LCOE (Residencial).

Porcentaje de bonificación	Bonificación	Inversión	LCOE
0	0	3732,3	0,2444207629
15	559,845	3172,455	0,2332127808
30	1119,69	2612,61	0,2220047987
50	1866,15	1866,15	0,2070608225
70	2612,61	1119,69	0,1921168463
90	3359,07	373,23	0,1771728702

Luego, en la Figura 5 podemos como se comporta esta variación, donde si bien acorta las distancias no se llega a acercar lo suficiente ni siquiera utilizando los porcentajes más altos.

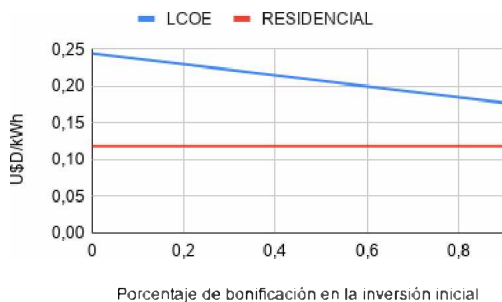


Fig. 5. Valor de LCOE con variación del porcentaje de bonificación de la inversión inicial (Instalación de 2 kW)

Porcentaje de bonificación en la inversión inicial (Comercial 10kW)

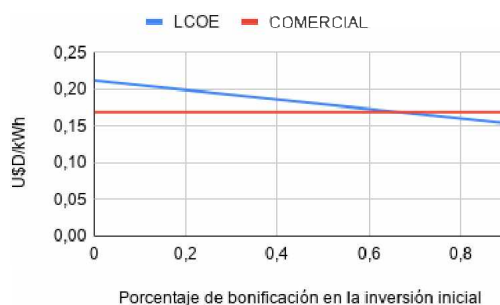
De la misma manera que en el caso anterior, en la Tabla 6 también se replicó el análisis pero considerando una instalación para usuarios comerciales de 10 kW.

En la Figura 6 podemos ver gráficamente como al llegar a valores cercanos al 60% de la bonificación se logra alcanzar la paridad de red. Esto ocurre debido a

Table 6. Variación del porcentaje de bonificación en el cálculo de LCOE (Comercial).

Porcentaje de bonificación	Bonificación	Inversión	LCOE
0	0	16175,5	0,2118601426
15	2426,325	13749,175	0,2021452368
30	4852,65	11322,85	0,192430331
50	8087,75	8087,75	0,1794771232
70	11322,85	4852,65	0,1665239154
90	14557,95	1617,55	0,1535707077

que se intersecan ambas rectas, lo que implica que se alcanzan los mismos valores del kWh.

**Fig. 6.** Valor de LCOE con variación del porcentaje de bonificación de la inversión inicial (Instalación de 10 kW)

Resumiendo el resultado de las comparaciones, con respecto a la variación en los porcentajes de bonificación ocurrió algo similar a los porcentajes de interés, con la diferencia que en los usuarios comerciales, si se realiza una bonificación cercana al 60% del valor de la inversión se logra la paridad de red. Sin embargo en los usuarios residenciales esto no ocurre, debido a que para lograr la paridad de red es necesario realizar una bonificación muy alta, debido a que tiene que ser superior al 80% del costo total.

3.6 Perfil de carga promedio de un usuario residencial con una instalación fotovoltaica de 2 kW

Continuando con los estudios previos, se analizó la curva de generación eléctrica de una instalación de 2 kW de potencia a lo largo de un año. Además, se realizó un estudio de la curva de consumo promedio de un usuario residencial en kWh acorde a esta instalación. En la Figura 7 se puede ver una comparativa de las mismas, donde podemos este tipo de factura podría ser cubierta con una

10 Valenzuela, Lautaro Emanuel , Risso, Mariano, and Rubiales, Aldo.

instalación de esta magnitud. Esto ocurre debido a que la diferencia entre ambas curvas es poca y se llega casi a cubrir la demanda del usuario.

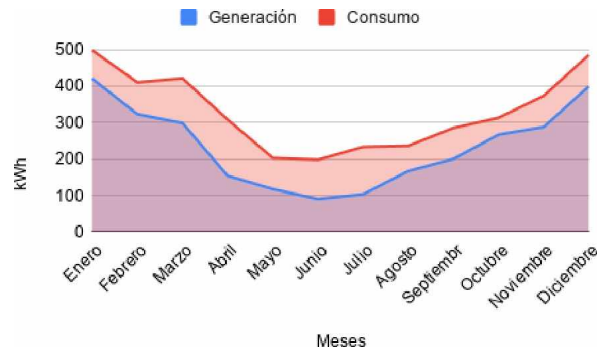


Fig. 7. Perfil de carga de un usuario residencial tipo y curva de generación de instalación fotovoltaica de 2 kW

Si aplicamos los ahorros que se obtienen con la utilización de la instalación fotovoltaica, podemos ver en la Figura 8 cómo estos impactan en la factura final aplicando la tarificación actualmente reglamentada en la provincia de Buenos Aires.

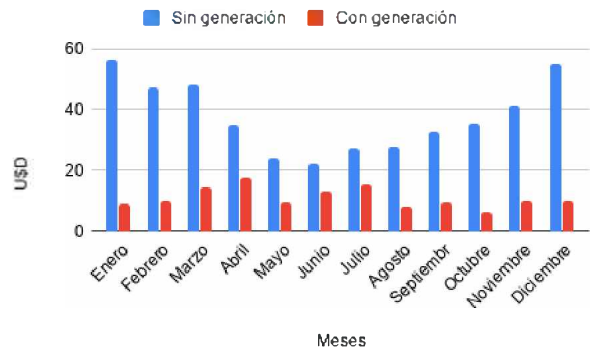


Fig. 8. Comparativa de los costos que incurre un usuario residencial al utilizar y no utilizar generación distribuida.

En resumen, la adopción de esta instalación impacta de manera considerable en la factura mensual. En promedio, anualmente se obtiene un ahorro de 319 U\$D si realizamos el acumulado de los ahorros generados, por ende, si proyectamos

esto a lo largo de los años, tendríamos como resultado que aproximadamente a los 11 años de realizada dicha instalación el costo de la misma sería amortizado.

4 Conclusiones

El presente estudio nos indica que aún no se ha alcanzado la paridad de red para ninguno de los dos tipos de usuarios analizados en la provincia de Bs. As. más allá de los beneficios promocionales lanzados junto con la ley de generación distribuida. Sin embargo, se puede observar que los usuarios comerciales se encuentran más cerca de poder llegar a estos valores si se modifican los porcentajes de beneficios como los que se ven en los estudios de sensibilidad. Por otro lado, en el análisis del perfil de carga típico de un usuario residencial aplicando el uso de una instalación de 2 kW permite cubrir en gran parte el consumo de estos tipos de usuarios. Además, si se acumulan los ahorros que conlleva su utilización se puede proyectar una amortización que se alcanza en 11 años aproximadamente de la inversión realizada.

En trabajos futuros, se proyecta realizar un análisis similar para grandes usuarios. Esto mismo es de interés debido a que existe una diferenciación en los precios de la electricidad para las franjas de valle, pico y resto. Además, existe la posibilidad de utilizar baterías para el almacenamiento de energía que puede ser utilizada en los períodos en que la misma es más costosa y de esta manera generar un ahorro.

References

1. Kästel, P., and Gilroy-Scott, B. (2015). Economics of pooling small local electricity prosumers—LCOE and self-consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 718-729.
2. Ueckerdt, F., Hirth, L., Luderer, G. and Edenhofer, O. (2013). System LCOE: What are the costs of variable renewables. *Energy*, 63, 61-75.
3. Hernandez-Moro, J. and Martinez-Duart, J. M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119-132.
4. Ouyang, X. and Lin, B. (2014). Levelized cost of electricity (LCOE) of renewable energies and required subsidies in China. *Energy policy*, 70, 64-73.
5. Ligus, M. (2014, August). Levelized Cost of Electricity (LCOE) of Renewable Energies in the Auctioning System in Poland. In *SGEM Conference on Political Sciences, Law, Finance, Economics and Tourism, Conference Proceedings (Vol. 4, pp. 435-442)*.
6. Munoz, L. H., Huijben, J. C. C. M., Verhees, B. and Verbong, G. P. J. (2014). The power of grid parity: A discursive approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 87, 179-190.
7. Kamran, M., Fazal, M. R., Mudassar, M., Ahmed, S. R., Adnan, M., Abid, I., ... and Shams, H. (2019). Solar photovoltaic grid parity: a review of issues, challenges and status of different PV markets. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9(1), 244-260.

- 12 Valenzuela, Lautaro Emanuel , Risso, Mariano, and Rubiales, Aldo.
8. Peak power of a photovoltaic element: Definition, <https://solar-energy.technology/photovoltaics/elements/photovoltaic-panel/peak-power>. Last accessed 17 August 2020.
9. Banyeres, L. J. (2012). Generación de energía solar fotovoltaica. Marcombo Ediciones Técnicas.
10. Cuadros Tarifarios UPyMT, <http://www.usinatandil.com.ar/cuadros-tarifarios/>. Last accessed 19 March 2020.
11. Generación Distribuida - Beneficios promocionales, <https://www.argentina.gob.ar/energia/generacion-distribuida/que-es-la-generacion-distribuida/beneficios-promocionales>. Last accessed 19 March 2020.
12. Mapas de Irradiancia Solar Directa e Irradiancia Global Horizontal, <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/informacion-geografica-energia/mapas-irradiancia-solar>. Last accessed 19 March 2020.